



# Energietransformation in Deutschland

Dr. Ing Dominik Schröder  
Senior Consultant Industrial Furnaces and  
Energy Transformation



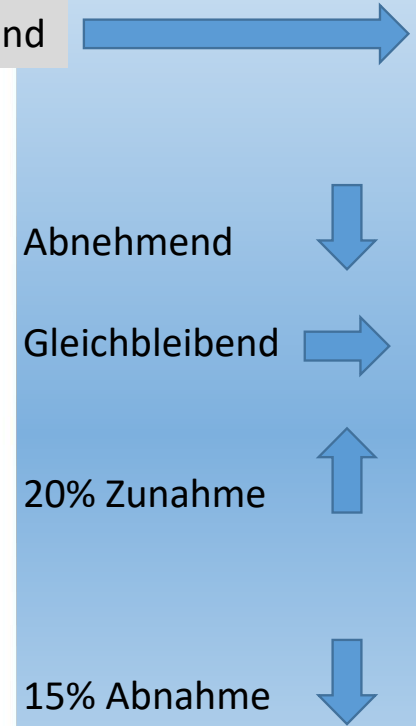
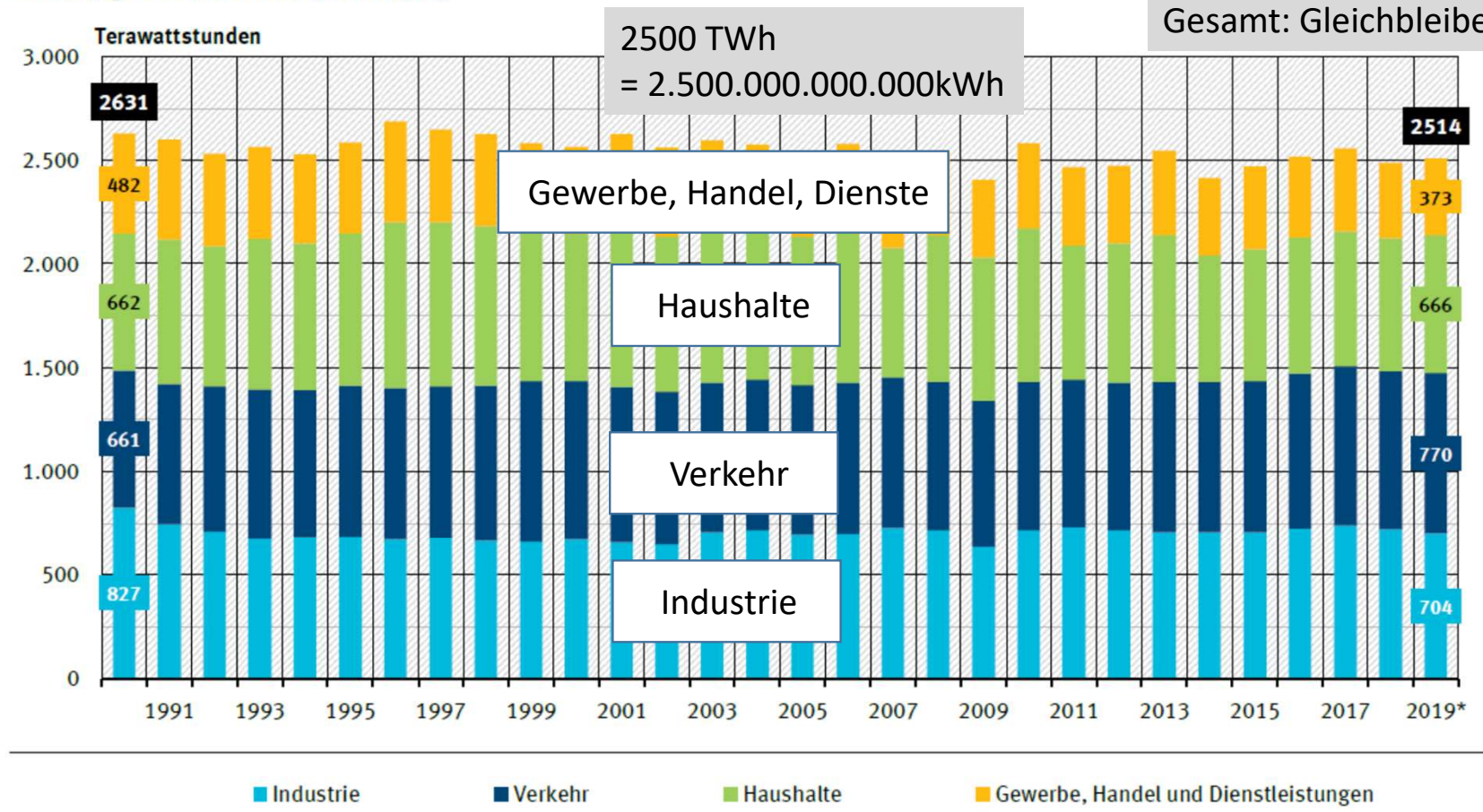
## Agenda:

- Übersicht über Energieverbrauch
- Energieverbrauchsziele
- Möglichkeiten
- Finanzierung
- Fernziel der Energieversorgung



# Energieverbrauch in Deutschland 2019 vor Covid 19

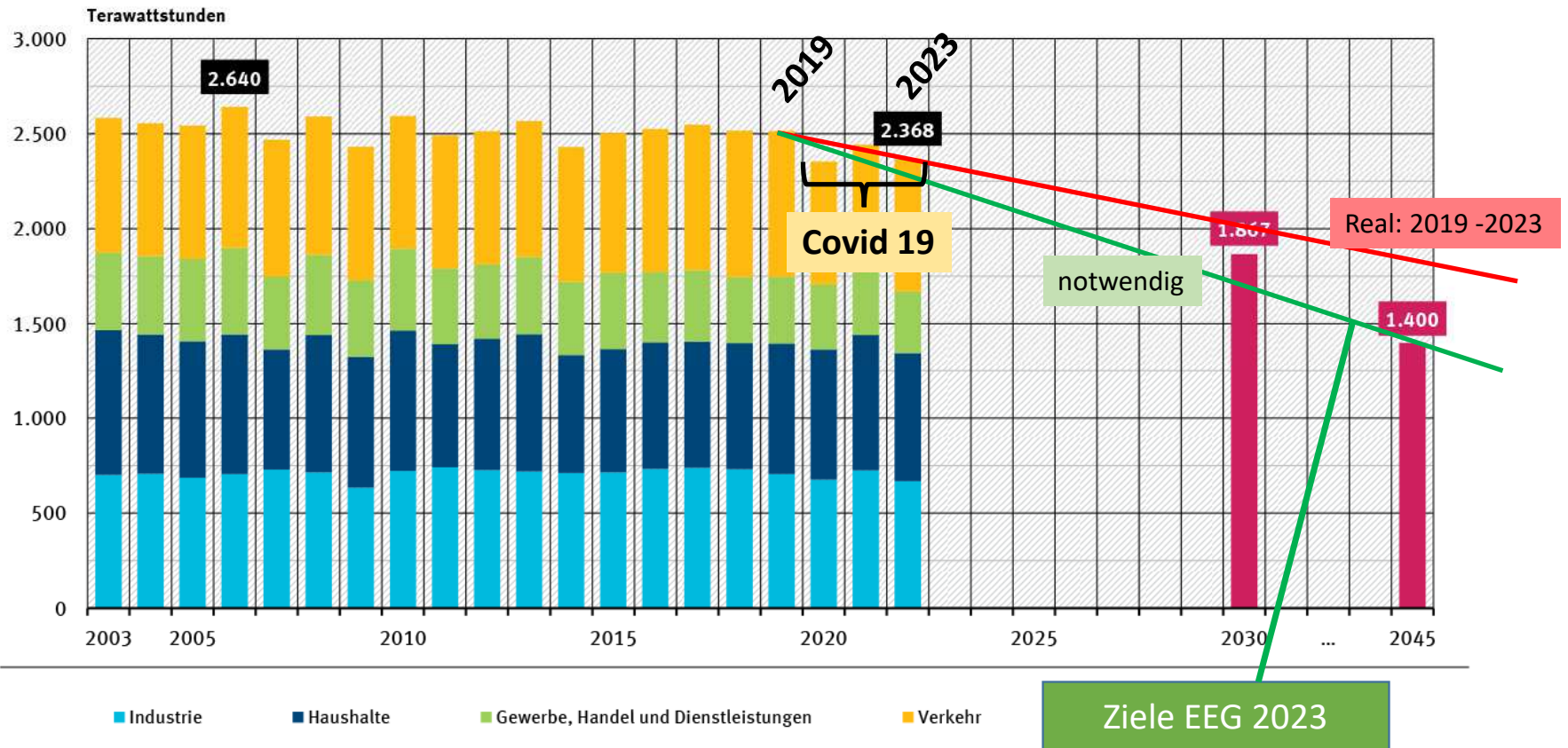
Endenergieverbrauch nach Sektoren





# Aktuelle und prognostizierte Entwicklung des Energieverbrauchs in Deutschland

## Endenergieverbrauch nach Sektoren



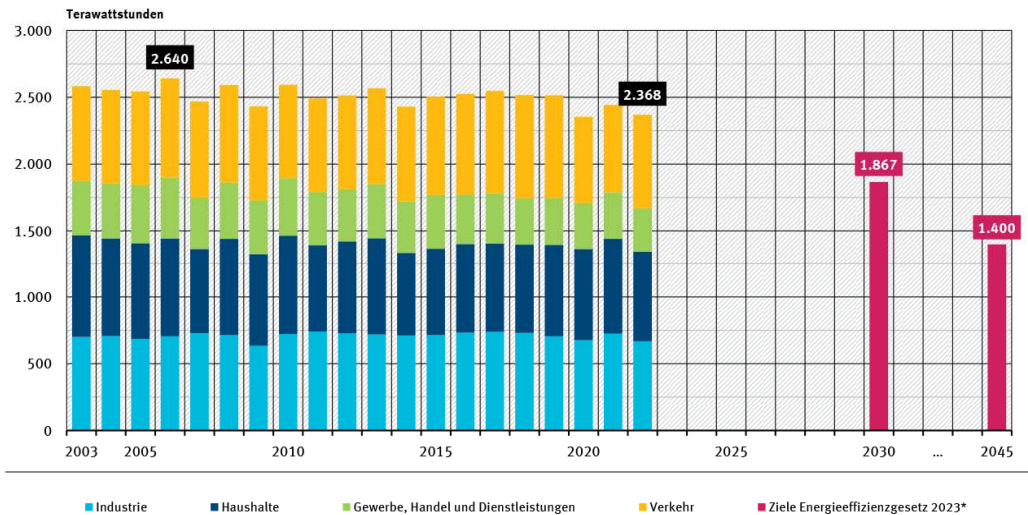
\* Für die Ziele nach dem Energieeffizienzgesetz (EnEFG) wird die Umweltwärme nicht berücksichtigt. Diese machte im Jahr 2022 weniger als 1 % des gesamten Endenergieverbrauchs aus.

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen: "Auswertungstabellen" (Stand 11/2023)



# Aktuelle und notwendige Entwicklung des Energieverbrauchs in Deutschland

Endenergieverbrauch nach Sektoren



\* Für die Ziele nach dem Energieeffizienzgesetz (EnEfG) wird die Umweltwärme nicht berücksichtigt. Diese machte im Jahr 2022 weniger als 1 % des gesamten Endenergieverbrauchs aus.

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen: "Auswertungstabellen" (Stand 11/2023)

Diese Ziele sehen nach Energieverzicht aus. Aber wer will denn auf Komfort verzichten?

- Industrieproduktion runterfahren?
- Heizung runterdrehen?
- Auto stehen lassen?
- etc?



**Kein Verzicht auf Komfort aber  
Reduzierung des CO<sub>2</sub> - Ausstoßes**



# Entwicklung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland nach Sektoren 1990 bis 2021, Schätzung für 2022 und Minderungsziele 2020 bis 2030

Abbildung 1\_1



Diese Darstellung ist das, was wir wollen!  
CO<sub>2</sub> Emission reduzieren

UBA (2022a) • 2022: Schätzung von Agora Energiewende basierend auf AGE B (2022a); Sektorziele nach Klimaschutzgesetz  
Gebäude 2021: Berechnung von Agora Energiewende abweichend von UBA (2022a)

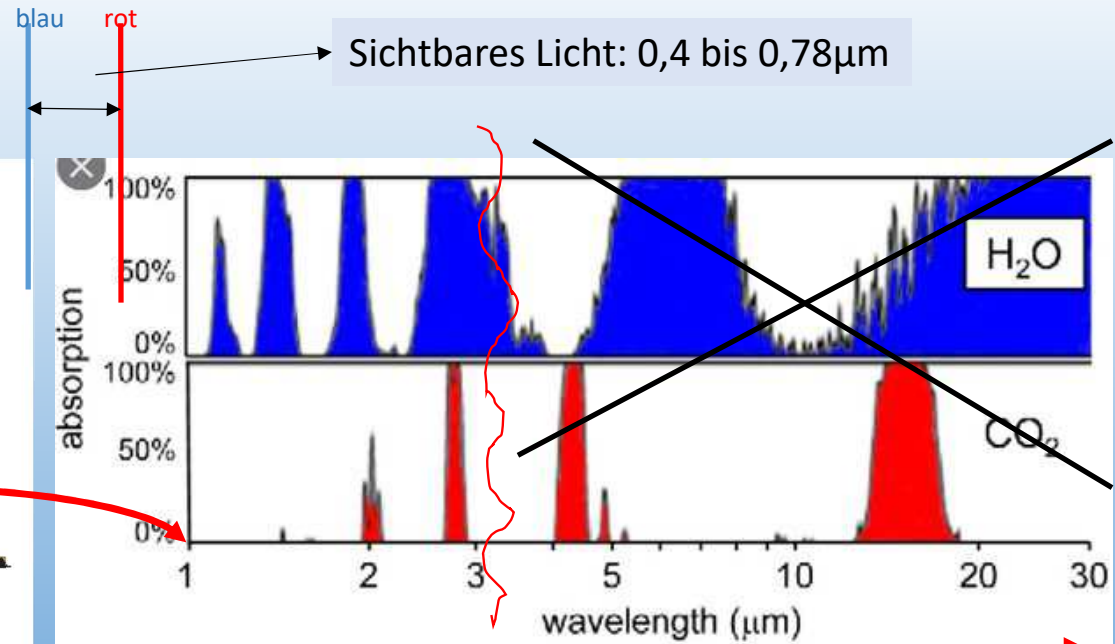
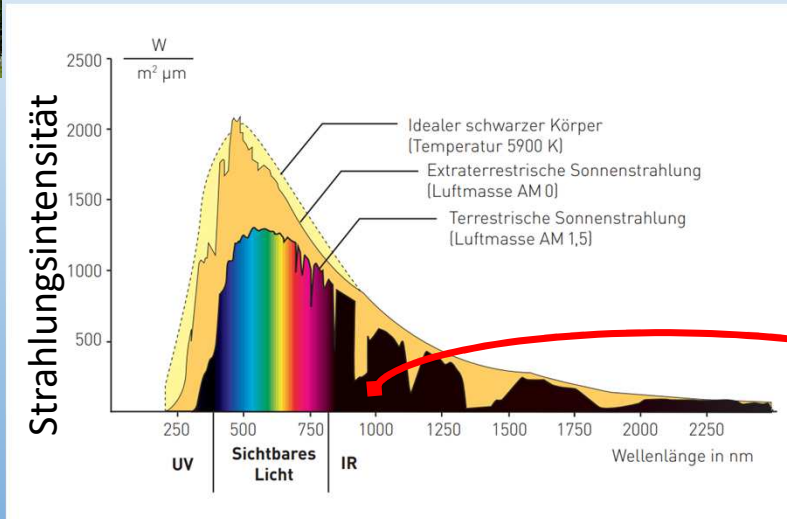


**Warum muss die CO<sub>2</sub> Emission reduziert werden?**





# CO<sub>2</sub>-Exkurs in die Physik



Abnehmende Intensität

**H<sub>2</sub>O Wasser** hat eine breitere und höhere Absorptionsfähigkeit für Wärmestrahlung kondensiert schnell und fällt als Regen. Intensität nimmt mit der Länge der Welle ab.

**CO<sub>2</sub> Kohlenstoffdioxid** ist persistenter\* als Wasser und addiert sich zur Strahlungsabsorption von Wasser. Relevanz haben die Wellenlängen bis 3μm = 3000nm.

\*schwer abbaubar



Mal wieder etwas Theorie:

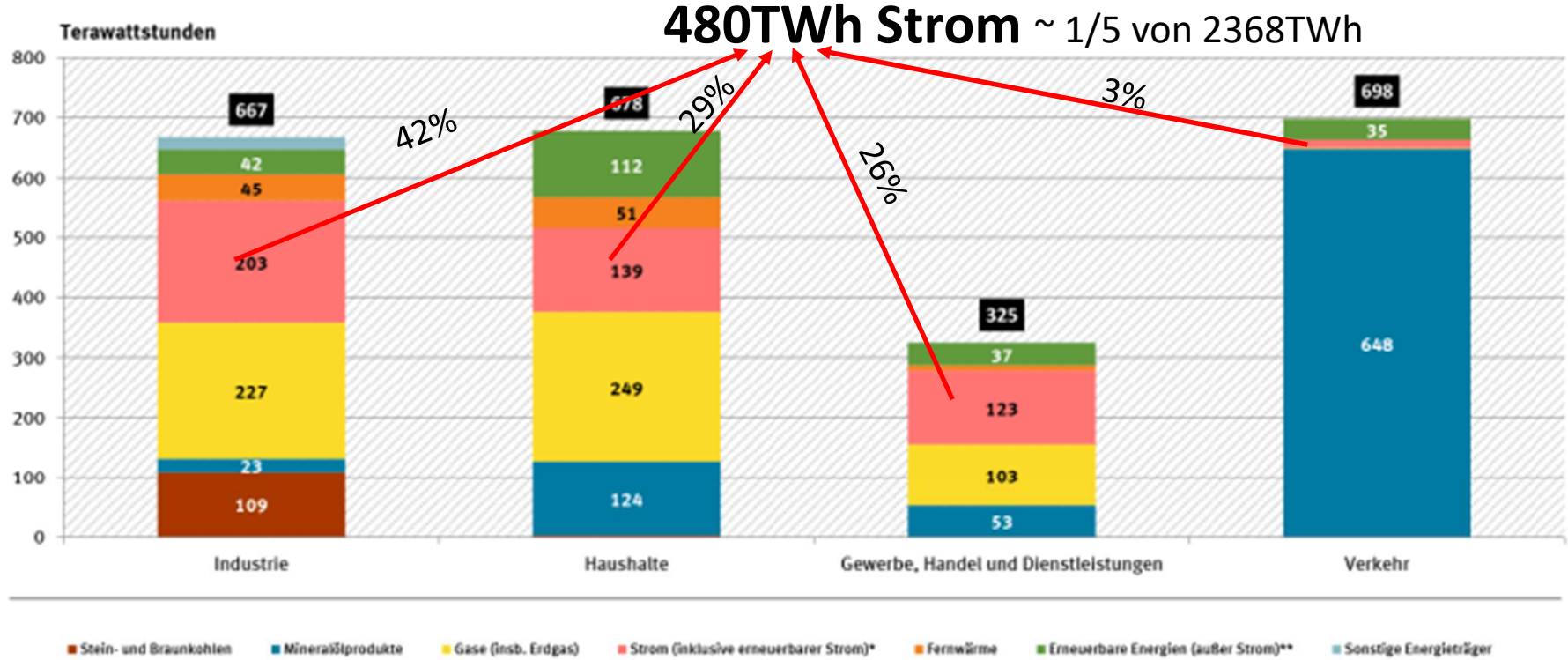
Ich bitte zu berücksichtigen, dass bei der Energiebetrachtung die Einheit **Joule J** und bei der Leistung die Einheit **Watt W** benutzt wird. Diese Betrachtung ist notwendig, weil zum Beispiel bei der Stromerzeugung sehr viel Energie im Kraftwerk verloren geht. Biomasse wird auch erst bei der Verstromung von einem Energie- zu einem Leistungspotenzial.

$$W = J/s$$



# Verteilung des Energieverbrauchs 2368TWh in Deutschland

Endenergieverbrauch 2022  
nach Sektoren und Energieträgern



\* Der Stromverbrauch lässt sich aus energiestatistischen Gründen nicht weiter nach Energieträgern differenzieren. Die Stromerzeugung in Deutschland basiert derzeit im Wesentlichen auf erneuerbaren Energieträgern, Kohle und Erdgas.  
 \*\* erneuerbare Kraftstoffe und Wärme. Strom aus erneuerbaren Energieträgern ist Teil des Energieträgers "Strom"

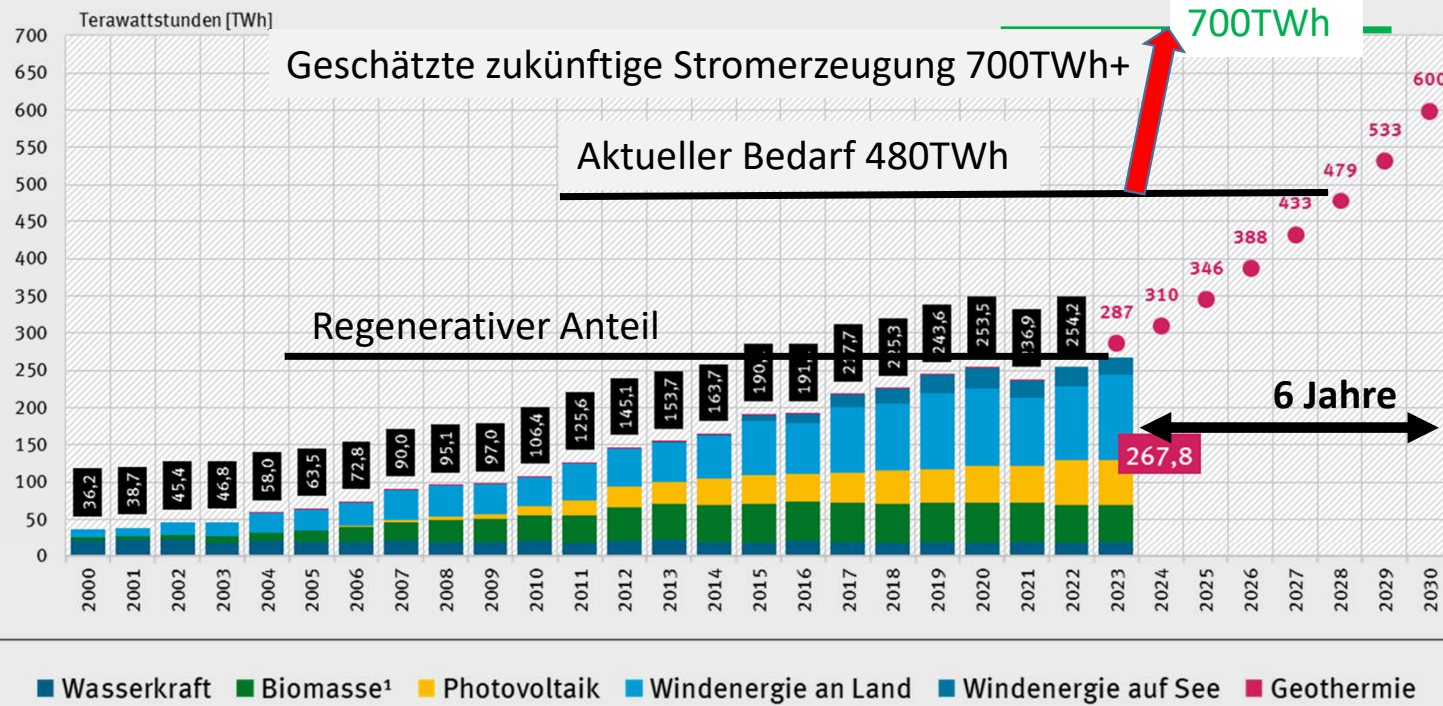
Quelle: Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Auswertungstabellen (Stand 09/2023)



# Stromverbrauch und regenerativer Anteil

## Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland

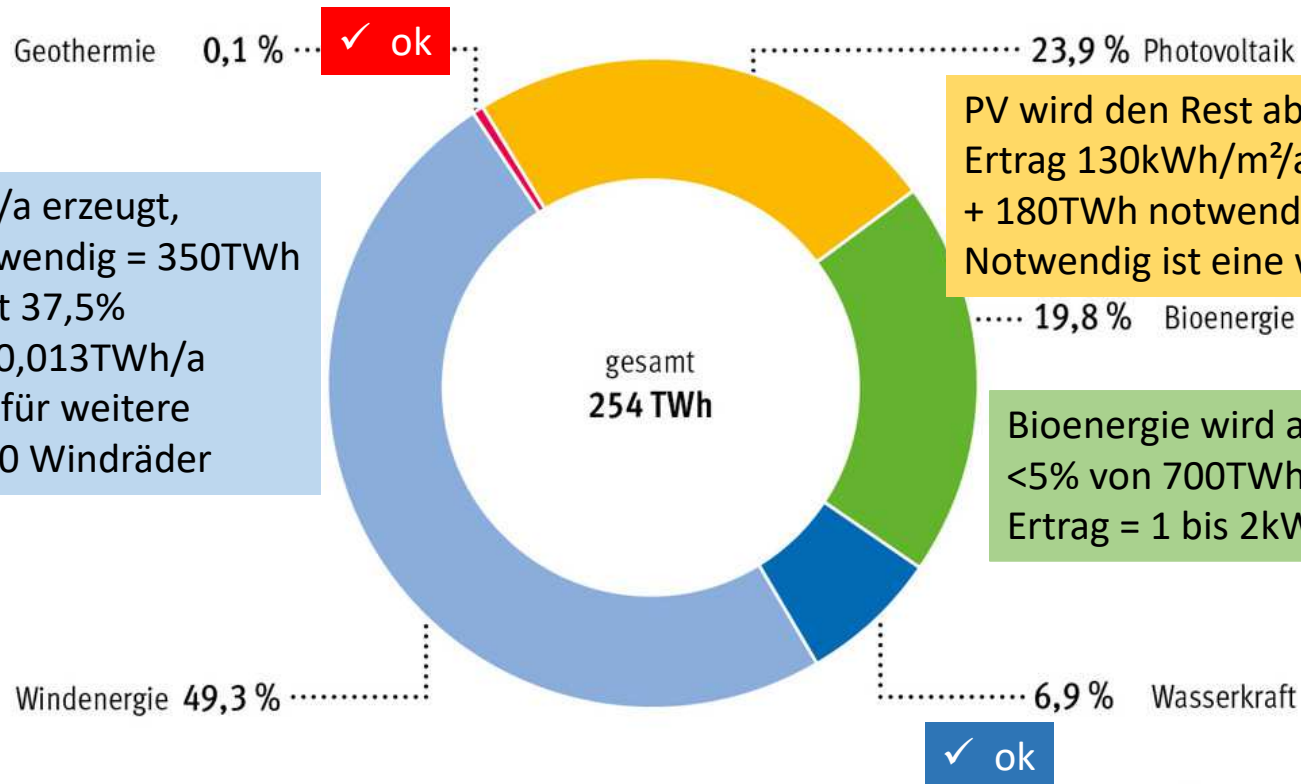
Entwicklung von 2000 bis 2023 - geplanter Entwicklungspfad bis zum Jahr 2030 nach EEG 2023



¹ inkl. feste und flüssige Biomasse, Biogas, Biomethan, Deponie- und Klärgas, Klärschlamm und dem biogenen Anteil des Abfalls  
Quelle: Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand: Dezember 2023

# Zukünftiger Bedarf für 700TWh/a

## Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2022



- Aktuell 140TWh/a erzeugt, +210TWh/a notwendig = 350TWh
- 4MW Anlage mit 37,5% Auslastung = 0,013TWh/a
- Notwendig sind für weitere 210TWh/a 16200 Windräder

PV wird den Rest abdecken müssen, Ertrag 130kWh/m<sup>2</sup>/a, aktuell 68TWh + 180TWh notwendig = 250TWh  
Notwendig ist eine weitere Fläche von 1384km<sup>2</sup>

Bioenergie wird auf <5% von 700TWh zurückgehen.  
Ertrag = 1 bis 2kWh/m<sup>2</sup>/a (chatgpt)

Quelle: BMWK, AGEE-Stat (Februar 2023)  
© FNR 2023





## Reicht das?

Natürlich nicht,  
weil fossile Energieträger ersetzt werden müssen.



**Ich denke, dass jeder hier im Raum für seine Nachkommen eine lebenswerte Erde erhalten möchte.**

**Ich denke auch, dass die meisten Menschen erkannt haben, dass etwas geschehen muss, ohne dass wir uns auf der Straße festkleben oder Baumhäuser besetzen.**

**Niemand möchte seinen Komfortstatus aufgeben, aber trotzdem die Energietransformation schaffen.**



**Was muss getan werden?**

**Wohin müssen wir uns entwickeln,  
um unseren zukünftigen Energiebedarf abzudecken?  
...und zugleich CO<sub>2</sub> Emissionen reduzieren?**

**Kleckern und Klotzen!!!**





## Was muss getan werden?

Wohin müssen wir uns entwickeln,  
um unseren zukünftigen Energiebedarf abzudecken?  
...und zugleich CO<sub>2</sub> Emissionen reduzieren?

Geothermie: Kaum **mehr Potenzial** verfügbar = 0,3TWh/a (Erschließung extrem teuer\*)

Wasserkraft: Wird **stagnieren** = 19TWh/a (Neue kleine Wasserkraftwerke unwirtschaftlich\*\*)

Bioenergie: Wird **abnehmen** = 10TWh/a (Ertrag zu gering)

\*Kosten in Millionenhöhe ohne Gewissheit auf Ertrag

\*\*5kWp Wasserkraftwerk ~ >50T€ (>10000€/kWp)



# Leistungsvergleich PV Anlagen und Windräder



## *Annahme*

- **Windrad** produziert 13.140.000kWh/a (4MW Windrad mit 37,5% Auslastung)
- **PV Anlage** produziert 130kWh/m<sup>2</sup>/a



- Notwendige Fläche für **PV Anlage** anstelle eines **Windrades**:

$$(13\ 140\ 000/130)\text{kWh/a}/(\text{kWh/m}^2/\text{a}) \sim 100\ 000\text{m}^2 \sim 10\text{ha} \sim 0,1\text{km}^2$$



# Wie viele PV Anlagen oder Windräder würden zur Deckung der fossilen Energie benötigt?

## **Annahme:**

- Die Energie aus *Steinkohle, Braunkohle, Erdgas und Mineralöl* müsste über **Windkraft** und **PV Anlagen** erzeugt werden.

## **Annahme:**

Primärenergieverbrauch 2023: **10 800PJ\***

- Anteil der Verluste in Kraftwerken, bei der Verbrennung 30% von fossiler Energie = 3 240PJ  
(Wirkungsgrad Verbrennung, Leitungsverluste)
- Notwendiger Nettobedarf an Strom einschließlich Leitungsverluste: **~9 000PJ**  
(konservative Schätzung, um den Lebensstandard mindestens zu erhalten)
- Nur <10% (**~700PJ = 190TWh**) der Energie von **9 000PJ** wird derzeit durch Windkraft und PV Anlage erzeugt,  
Das bedeutet, dass >8 000PJ zusätzlich erzeugt werden müssen.  
(Natürlich können nicht alle Verbraucher auf gasförmige und flüssige Brennstoffe verzichten.  
Hier geht es erst einmal um die Erfassung des Energiebedarfs.)

\*  $1 \text{ PJ} = 1000 \text{ TJ} = 1\,000\,000 \text{ GJ} = 1\,000\,000\,000 \text{ MJ} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ kJ} = 1\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ J}$   
 $[J = \text{Nm} = \text{kgm}^2/\text{s}^2]$



# Wie viele PV Anlagen oder Windräder würden zur Deckung des Energiebedarfs benötigt?

Wie viele **Windräder** sind notwendig, um den Energiebedarf ausschließlich durch Windkraft zu decken?  
 $8000\text{PJ} = 2200\text{TWh}^{***}$ ,  $13\,400\,000\text{kWh/a/Windrad} \rightarrow 164000$  Windräder à  $4\text{MW}_p$  Leistung



Welche **PV Anlagenfläche** ist notwendig, um die benötigte Energie ausschließlich aus **PV Anlagen** zu erzeugen?  
 $8000\text{PJ/a} = 2220\text{TWh/a}^{***} \rightarrow (2220\text{TWh/a}) / (130\text{kWh/a/m}^2)** = 17000\text{km}^2$   
[ $17000\text{km}^2 / 357400\text{km}^2* = 4,7\%$  der Fläche Deutschlands]



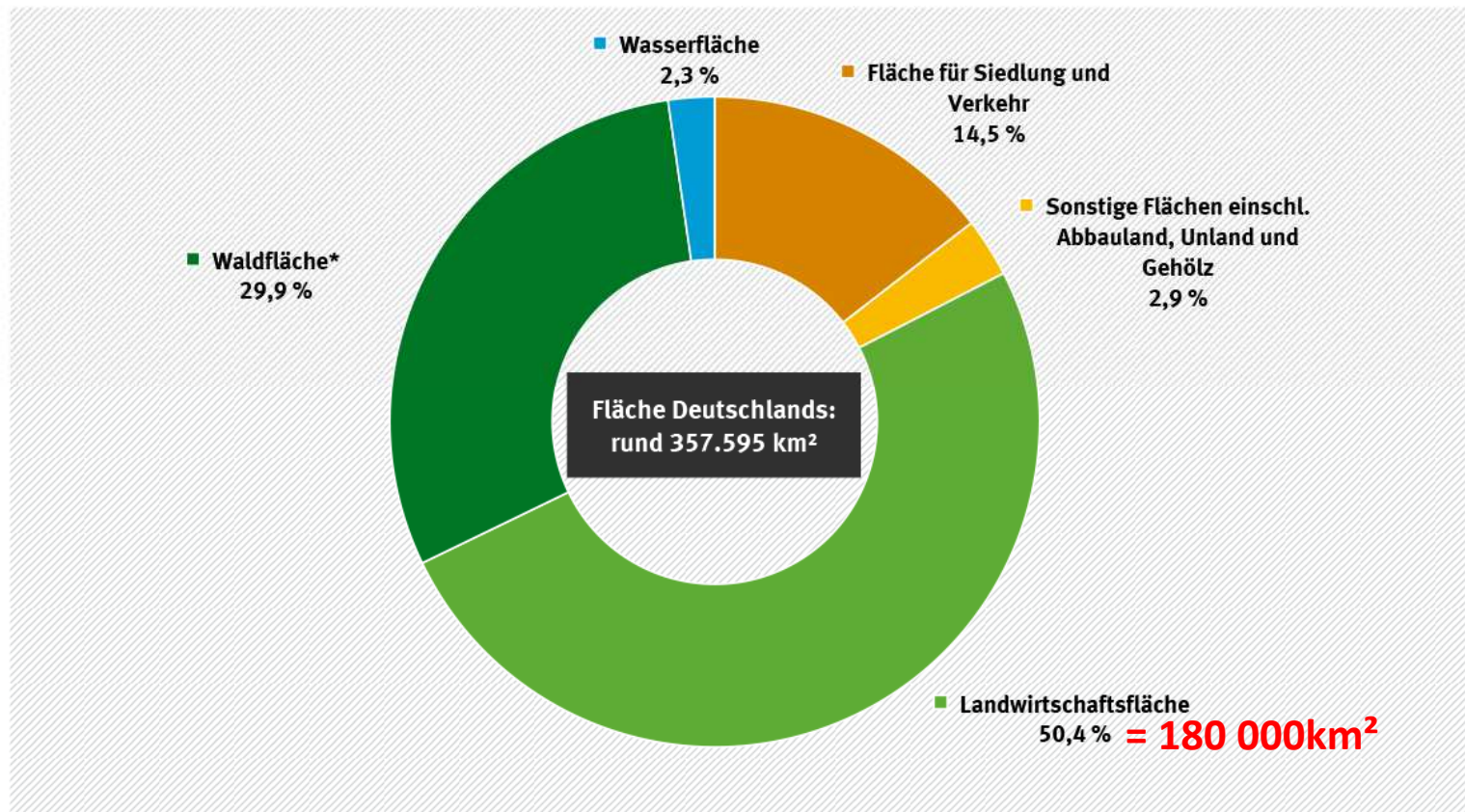
\*Fläche Deutschland

\*\*Konservative Berechnungsgrundlage

\*\*\*Umrechnung J zu W:  $1\text{PJ} = 0,278\text{TWh}$

# Flächennutzung in Deutschland

Flächennutzung in Deutschland (Stand 31.12.2022)

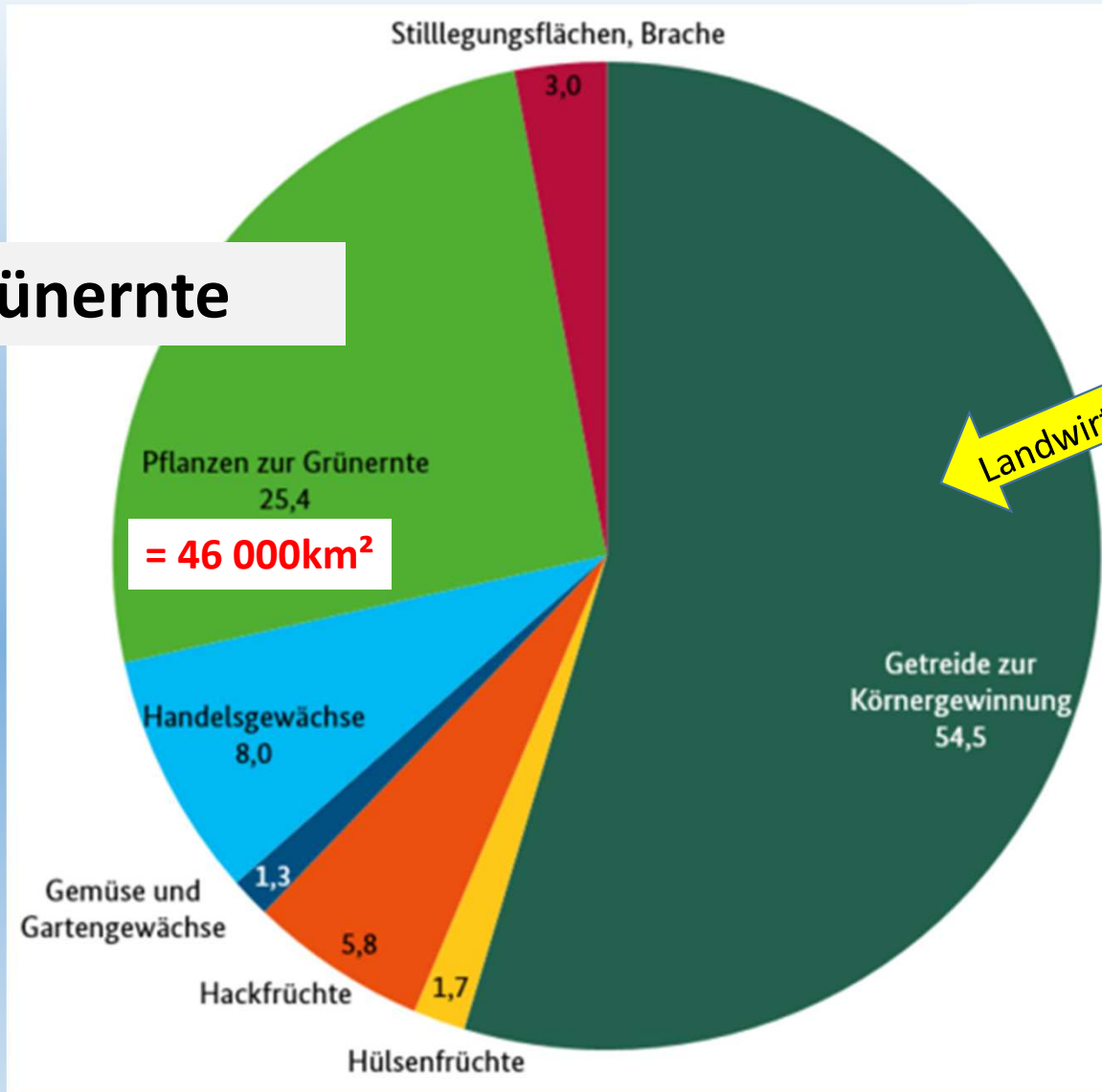


\* Seit 2016 werden Waldflächen in der Statistik ohne Gehölze ausgewiesen. Gehölz wird getrennt unter "sonstige Flächen" erfasst. Inklusive Gehölze läge der Anteil der Waldfläche bei 31,0 %.

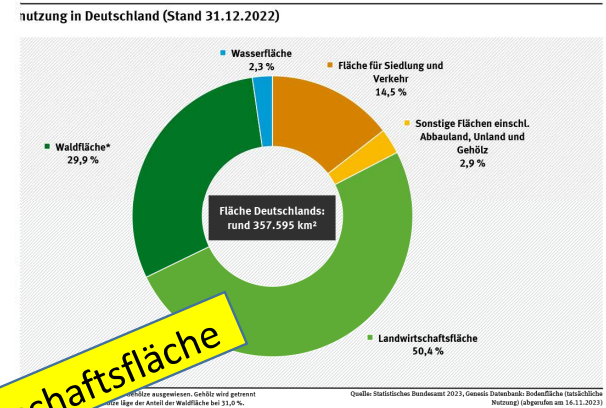
Quelle: Statistisches Bundesamt 2023, Genesis Datenbank: Bodenfläche (tatsächliche Nutzung) (abgerufen am 16.11.2023)



# Anteil Grünernte



**= 46 000km<sup>2</sup>**



**Landwirtschaftsfläche**

**= 180 000km<sup>2</sup>**

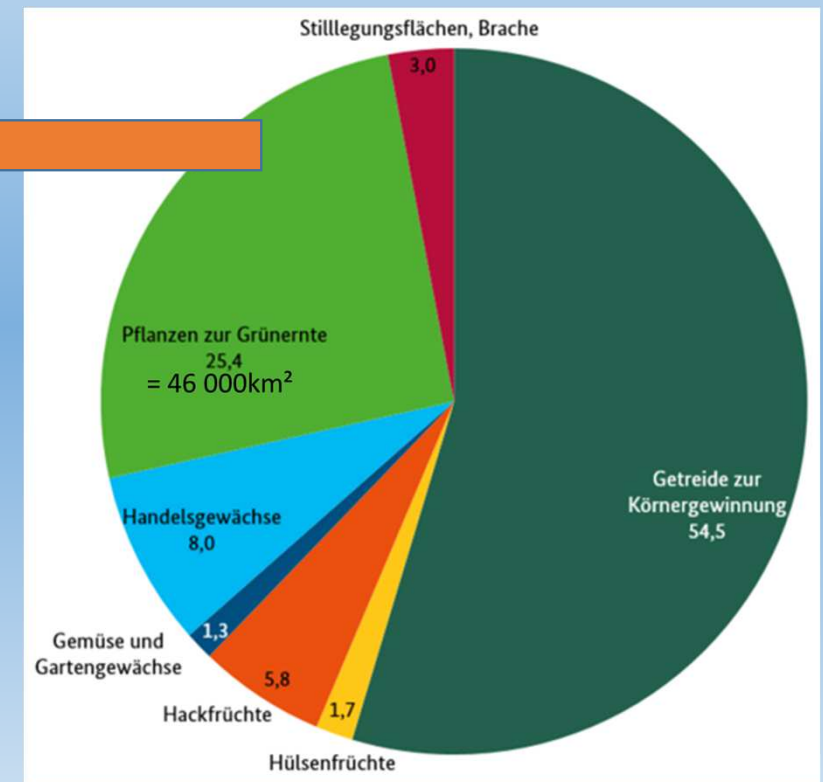


# Anteil der Flächen für Biogas und Biomethanol

Davon 60% für Pflanzen zur Produktion von Biogas und Biomethanol  
**= 27 000km<sup>2</sup>**

Quelle:

„Die landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland umfasst 18 Millionen Hektar. Davon wurden im Jahr 2019 auf **2,7 Millionen Hektar Energie- und Industriepflanzen** angebaut. Dazu kommt eine Waldfläche von 11,4 Millionen Hektar, was einem Drittel der deutschen Gesamtfläche entspricht.“





# Energieertrag Grünernteprodukte

## Quelle:

„Bezüglich der Energieerträge von Biomasse bzw. Energiepflanzen wird zwischen elektrischer- und thermischer Energie unterschieden. Bei der **elektrischen** Energie sind je nach Energiepflanzenart durchschnittlich **1,0 bis 1,9 kWh/m<sup>2</sup>** möglich. Die **thermische** Energiegewinnung weist eine Gewinnspanne von **3,0 bis 5,1 kWh/m<sup>2</sup>** auf (Bundesamt für Naturschutz 2018). Damit verzeichnet die **Bioenergieerzeugung den geringsten Energieertrag je Flächeneinheit.**“

„Durch Biogasverstromung von Silomais können durchschnittlich **23 Tausend kWh Strom pro Hektar und Jahr** erzeugt werden. Wird die **Abwärme** der Biogasanlagen ebenfalls verstromt, können durchschnittlich weitere **3 Tausend kWh/ha/Jahr** gewonnen werden.“

$$26\ 000\text{kWh/ha/a} = 2,6\ \text{kWh/m}^2/\text{a}$$





## Flächengebrauch“verbrauch“ für Biogas, Biodiesel und Biomethanol

- **7,5%** der Fläche wird derzeit in Deutschland für die Erzeugung von Biogas\*, Biodiesel\* und Biomethanol\* ver(sch)wendet.
- Das sind **27000km<sup>2</sup>** Fläche.
- Energieerzeugung pro m<sup>2</sup> im Mittel: **1,5 kWh<sub>elek</sub>/(m<sup>2</sup>a)** [1 bis 2,5kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- Würde diese Fläche durch PV Anlagen genutzt, könnte durchschnittlich **87 Mal** mehr Energie auf der höchsten Energiestufe\*\* erzeugt werden.

\*Gase und Flüssigbrennstoffe haben bei direkter Verbrennung je nach Temperaturlevel einen energetischen Wirkungsgrad von 50 bis 95%, bei der Verstromung jedoch nur <50%, wohingegen der Wirkungsgrad von dezentral erzeugtem PV- Strom zwischen 80 und 98% liegt.

\*\*Elektrizität ist die höchste Energiestufe



## Realistischer Ansatz

### Gewaltiger Ausbau von Windkraft und PV Anlagen notwendig

- **Szenario 1: *Nur PV Anlagenausbau***: Ersatz der Flächen 17700km<sup>2</sup> für Biomethanol und Biogas zur Stromerzeugung durch PV:  
2200TWh/a = 100% des derzeit gesamten notwendigen deutschen Energiebedarfs
- **Szenario 2a: *Nur Ausbau der Windkraft*** unter Berücksichtigung einer Abstandsfläche von 1km für **100%** des derzeit gesamten notwendigen deutschen Energiebedarfs:

$$169500 \text{ Anlagen} \times 3,14 \text{ km}^2 = 532 \text{ 000 km}^2$$

Fläche Deutschland: 357400km<sup>2</sup>





## Realistischer Ansatz

### Gewaltiger Ausbau von Windkraft und PV Anlagen notwendig

- **Szenario 1: *Nur PV Anlagenausbau***: Ersatz der Flächen 17700km<sup>2</sup> für Biomethanol und Biogas zur Stromerzeugung durch PV:

2200TWh/a = 100% des derzeit gesamten notwendigen deutschen Energiebedarfs

- **Szenario 2b: *Nur Ausbau der Windkraft*** unter Berücksichtigung einer Abstandsfläche von 0,2km zueinander:

$$169500 \text{Anlagen} \times 0,125 \text{km}^2 = 21200 \text{km}^2 *$$

(ohne Berücksichtigung der Bebauung)

- \*Hier wird berücksichtigt, dass Windräder vorzugsweise in Windparks nahe zusammen aufgestellt werden. Solitär aufgestellte Windräder benötigen bis zu 25 Mal mehr Fläche.





# Realistischer Ansatz

## Gewaltiger Ausbau von Windkraft und PV Anlagen notwendig

- **Szenario 1: Nur PV Anlagenausbau:** Ersatz der gesamten Flächen 15000km<sup>2</sup> für Biomethanol und Biogas zur Stromerzeugung von durch PV 1950TWh/a = 88% des gesamten notwendigen deutschen Energiebedarfs
- **Szenario 2: Nur Ausbau der Windkraft** unter Berücksichtigung einer Abstandsfläche von 0,2km:

$$169500 \text{Anlagen} \times 0,125 \text{km}^2 = 21200 \text{km}^2 *$$

\*Hier wird berücksichtigt, dass Windräder vorzugsweise in Windparks nahe zusammen aufgestellt werden. Solitär aufgestellte Windräder benötigen bis zu 20 Mal mehr Fläche.

## Scenario 3: Gemischter Ausbau von Windkraft und PV Anlagen

Dafür die Hälfte der Grünanbaufläche zu **PV Fläche** umwidmen:  $\frac{1}{2}$  von 27000km<sup>2</sup> entsprechen **13500km<sup>2</sup>** → Deckung von **80%** des Energiebedarfs

**40%** Deckung über Windkraft mit **68000 Rädern** à 4MW

**Summe der Deckung: 120%!!!!**



- **1. Zu berücksichtigen ist, dass bereits ~10% der Energie aus Solar und Wind erzeugt wird.**
- **2. Rechnerisch würden dann 130% des Energiebedarfs zur Verfügung stehen.**
- **3. Ein Teil von Prozessen (10%) wird noch fossile Energie benötigen.**
- **4. 40% Überschüsse werden für den Wirkungsgradverlust bei H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> Erzeugung und Pumpverluste für speicherbare Energie in Pumpspeicherwerk**



# Sicherstellung der Energieversorgung

## Wirkungsgradverluste Überschussverwendung

### Direkte Speicherung und indirekte Speicherung

#### Und wieder etwas Physik:

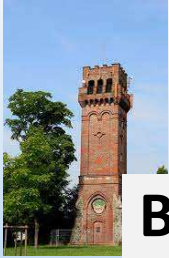
- Überschüsse aus Windkraft und PV Anlagen werden gespeichert oder zum Speichern umgewandelt in:
  - Batteriespeicher,  $\eta > 0,95$
  - Speicherseen (Pumpwasserkraftwerke),  $\eta = 0,65$  rauf (von 0,7 runter) = 0,45
  - Wasserstoff  $H_2$ ,  $\eta = 0,75^*$
  - Methanisiert  $CH_4$  (Bindung von  $H_2$  und  $CO_2$ ) ( $\eta = 0,75$  für  $H_2$  x  $\eta = 0,70$  von  $H_2+CO_2$  zu  $CH_4$ ;)  $\eta = 0,52^*$
  - Ammoniak  $NH_3$  \*\* (Bindung von  $H_2$  und  $N_2$ ) ( $\eta = 0,75$  für  $H_2$  x  $\eta = 0,8$  von  $H_2+N_2$  zu  $NH_3$ ;)  $\eta = 0,60^*$
- Großanlagentechnik vorausgesetzt
- \*\* Haber-Bosch-Verfahren



**Fazit:** Ein gemischter Ausbau der Solar- und Windenergie mit einem nominellen Überschuss von durchschnittlich 40% ermöglicht **alle** elektrisch zu betreibenden Prozesse und Anlagen zu bedienen. Überschüsse werden in **Wasserstoff und CH<sub>4</sub>** umgewandelt. Noch produziertes Biogas und Biomethanol bleiben neben wenigen fossilen Brennstoffen besonderen Anwendungen reserviert. (z.B.: Flugzeuge, Hochtemperaturtechnik)

***Unterdeckung im Winter:***

*Betreiben von Gaskraftwerken mit Gas H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> aus Erdgas-Speicherkavernen, um Spitzen und Unterdeckung abzudecken.*



# Finanzierung der PV Anlagen gemischter Ausbau **Szenario 3**

## Berechnungsgrundlage:

- PV Anlage schlüsselfertig:  $100\text{€}/\text{m}^2 \rightarrow 13500\text{km}^2 : 1350\text{Mrd€}$
- Stromertrag:  $130\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \rightarrow 1755\text{TWh}^*/13500\text{km}^2$
- Ertrag:  $1\,755\,000\,000\,000\text{kWh} \times 0,3\text{€}/\text{kWh}_{\text{einschl Netzentgeld}} = 527\text{Mrd€}$
- Abzüglich für zur Verfügung gestellte Fläche  $1/67 \times 527\text{Mrd€} = 7,9\text{Mrd€}$

Die Landwirte erhalten den Betrag, den sie mit der Erzeugung von Biogas und Biomethanol maximal erzielt hätten.

## Annahmen:

- 3% Zins, 5% Renditeerwartung
- Abschreibung auf 8 Jahre
- Ausbau über 5 Jahre: Finanzbedarf:  
 $1350\text{Mrd€}/5 = 270\text{Mrd€}/\text{a}$





# Finanzierung der PV Anlagen gemischter Ausbau **Szenario 3**

Wirtschaftlichkeitsberechnung PV Anlagen			
<b>Kosten für schlüsselfertige Anlage</b>			
<b>Invest Capex</b>		<b>Erträge</b>	
Fläche	13500 km <sup>2</sup>	Spezifisch	130 kWh/m <sup>2</sup> /a
Spezifisch	100 €/m <sup>2</sup>	Gesamtenergie	1755 Mrd kWh/a
Gesamt	1350 Mrd€	Verkauf	0,3 €/kWh
		Einnahmen	527 Mrd€/a
<b>Realisierung in 5 Jahren</b>			
<b>Gesamt/Jahr</b>	<b>270 Mrd€</b>	<b>Einnahmen 1. Jahr</b>	<b>105 Mrd/a</b>
<b>Betrieb Opex 1. Jahr</b>			
Abschreibung auf 8 Jahre	34 Mrd€/a		
Flächenpacht 1,5% von 105Mrd€	8 Mrd€/a		
Zinsen 3% von 270Mrd€	8,1 Mrd€/a		
Rendite 5%	13,5 Mrd€/a		
Verbleib für Netz und Betrieb	41,4 Mrd€/a		
<b>Verbleib für Netz und Betrieb spez</b>	<b>0,12 €/kWh</b>	*	

\*Umwandlungsverluste müssen noch berücksichtigt werden.





# Finanzierung der PV Anlagen gemischter Ausbau **Szenario 3**

## Berechnungsgrundlage:

- PV Anlage schlüsselfertig:  $100\text{€}/\text{m}^2 \rightarrow 13500\text{km}^2 : 1350\text{Mrd€}$
- Stromertrag:  $130\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \rightarrow 1755\text{TWh}^*/13500\text{km}^2$
- Ertrag:  $1\,755\,000\,000\,000\text{kWh} \times 0,3\text{€}/\text{kWh}_{\text{einschl Netzentgeld}} = 527\text{Mrd€}$
- Abzüglich für zur Verfügung gestellte Fläche  $1/67 \times 527\text{Mrd€} = 7,9\text{Mrd€}$

Die Landwirte erhalten den Betrag, den sie mit der Erzeugung von Biogas und Biomethanol maximal erzielt hätten.

## Annahmen:

- 3% Zins, 5% Renditeerwartung
- Abschreibung auf 8 Jahre
- Finanzbedarf:  $270\text{Mrd€}/1350\text{Mrd€} \sim 5$  Jahre Zeit des schrittweise Ausbaus

## Maßnahme:

- Auflegen eines Index, Ausbau über 5 Jahre, Bedarf/a  $270\text{Mrd}/\text{a}$
- Möglichkeit für eine breite Bürgerbeteiligung



# Finanzierung der PV Anlagen gemischter Ausbau **Szenario 3**

## Berechnungsgrundlage:

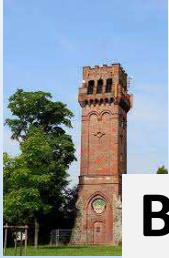
- PV Anlage schlüsselfertig:  $100\text{€}/\text{m}^2 \rightarrow 13500\text{km}^2 : 1350\text{Mrd€}$
- Stromertrag:  $130\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \rightarrow 1755\text{TWh}^*/13500\text{km}^2$
- Ertrag:  $1\,755\,000\,000\,000\text{kWh} \times 0,3\text{€}/\text{kWh}_{\text{einschl Netzentgeld}} = 527\text{Mrd€}$
- Abzüglich für zur Verfügung gestellte Fläche  $1,5\% \times 527\text{Mrd€} = 7,9\text{Mrd€}$

Die Landwirte erhalten den Betrag, den sie mit der Erzeugung von Biogas und Biomethanol maximal erzielt hätten.

## Annahmen:

- 3% Zins, 5% Renditeerwartung
- Abschreibung auf 8 Jahre
- Finanzbedarf:  $270\text{Mrd€}/1350\text{Mrd€} \sim 5$  Jahre Zeit des schrittweise Ausbaus

*\*Tatsächlich wird weniger Strom gebraucht werden, weil Autos und Heizungsanlagen bessere Effizienz mit Strom haben und Häuser besser isoliert werden. (Auto:  $18\text{kWh}/100\text{km}$ , Wärmepumpe: Faktor 4 - 6;  $\rightarrow$  realistischer Verbrauch an Strom in der Endausbaustufe: **1600-1800TWh/a anstelle von 2200TWh/a, also >20% weniger**)*



# Finanzierung der Windanlagen Anlagen gemischter Ausbau **Szenario 3**

## Berechnungsgrundlage:

- Windanlage schlüsselfertig: 5Mio€/4MWp → 68000 Windräder: 340Mrd€  
[1,25Mio€/MW]
- Stromertrag: 890TWh/a
- Ertrag: 890 000 000 000kWh x 0,3€/kWh<sub>einschl Netzentgeld</sub> = 267Mrd€
- Abzüglich für zur Verfügung gestellte Fläche 1/50 x 267Mrd€ = 5,3Mrd€
- 2% Pacht für die Fläche.

## Annahmen:

- 3% Zins, 5% Renditeerwartung
- Abschreibung auf 8 Jahre
- Finanzbedarf: Ausbau über 5 Jahre:  
340Mrd€/5Jahre = 68Mrd€/a





# Finanzierung der Windanlagen Anlagen gemischter Ausbau **Szenario 3**

Wirtschaftlichkeitsberechnung Windkraft Anlagen			
<b>Kosten für schlüsselfertige Anlage</b>			
<b>Invest Capex</b>			<b>Erträge</b>
Windanlage 4MWp	5 Mio€	Spezifisch	13,4GW/a
Spezifisch	1,25 €/MWp	Gesamtenergie	890Mrd kWh/a
Anzahl Anlagen	68000 Stück	Verkauf	0,3€/kWh
Gesamt	340Mrd€	Einnahmen	267Mrd€/a
<b>Realisierung in 5 Jahren</b>			
<b>Gesamt/Jahr</b>	<b>68Mrd€</b>	<b>Einnahmen 1. Jahr</b>	<b>53,4Mrd/a</b>
<b>Betrieb Opex 1. Jahr</b>			
Abschreibung auf 8 Jahre	8,5Mrd€/a		
Flächenpacht 1,5% von 53,4Mrd€	0,8Mrd€/a		
Zinsen 3% von 68Mrd€	2,0Mrd€/a		
Rendite 5% von 68Mrd€	3,4Mrd€/a		
Verbleib für Netz und Betrieb	38,7Mrd€/a		
<b>Verbleib für Netz und Betrieb spez</b>	<b>0,22€/kWh *</b>		

\*Umwandlungsverluste müssen noch berücksichtigt werden.



# Finanzierung der Windanlagen Anlagen gemischter Ausbau

## Szenario 3

### Berechnungsgrundlage:

- Windanlage schlüsselfertig:  $5\text{Mio€}/4\text{MWp} \rightarrow 68000$  Windräder:  $340\text{Mrd€}$   
[ $1,25\text{Mio€}/\text{MW}$ ]
- Stromertrag:  $890\text{TWh}/\text{a}$
- Ertrag:  $890\,000\,000\,000\text{kWh} \times 0,3\text{€}/\text{kWh}_{\text{einschl Netzentgeld}} = 267\text{Mrd€}$
- Abzüglich für zur Verfügung gestellte Fläche  $1/50 \times 267\text{Mrd€} = 5,3\text{Mrd€}$
- 2% Pacht für die Fläche.

### Annahmen:

- 3% Zins, 5% Renditeerwartung
- Abschreibung auf 8 Jahre
- Finanzbedarf:  $68\text{Mrd€}/340\text{Mrd€} \sim 5$  Jahre Zeit des schrittweise Ausbaus

### Maßnahme:

- Auflegen eines Index, Ausbau über 5 Jahre, Bedarf/a  $68\text{Mrd}/\text{a}$
- Möglichkeit für eine breite Bürgerbeteiligung



# Finanzierung der Windanlagen Anlagen gemischter Ausbau Szenario 3

## Berechnungsgrundlage:

- Windanlage schlüsselfertig: 5Mio€/4MWp → 68000 Windräder: 340Mrd€  
[1,25Mio€/MW]
- Stromertrag: 890TWh/a
- Ertrag: 890 000 000 000kWh x 0,3€/kWh<sub>einschl Netzentgeld</sub> = 267Mrd€
- Abzüglich für zur Verfügung gestellte Fläche 1/50 x 267Mrd€ = 5,3Mrd€
- 2% Pacht für die Fläche.

## Annahmen:


- 3% Zins, 5% Renditeerwartung
- Abschreibung auf 8 Jahre
- Finanzbedarf: 68Mrd€/340Mrd€ ~ 5 Jahre Zeit des schrittweise Ausbaus

*\*Tatsächlich wird weniger Strom gebraucht werden, weil Autos und Heizungsanlagen bessere Effizienz mit Strom haben und Häuser besser isoliert werden. (Auto: 18kWh/100km, Wärmepumpe: Faktor 4 - 6; → realistischer Verbrauch an Strom in der Endausbaustufe : 1600-1800TWh/a anstelle 2200TWh/a, also >20% weniger*

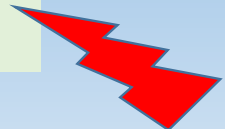


## PV versus Windkraft? **Nein!**

Beide Potenziale müssen soweit wie möglich ausgeschöpft werden!



**Ganz wichtig ist die parallele Schaffung von Speichermöglichkeiten.  
Sonst werden bei zu viel Wind- oder zu viel Sonne - Kapazitäten abgeschaltet.**





# Ein Blick in die Zukunft







## Ein Blick in die Zukunft



Was haben wir am meisten?



## Ein Blick in die Zukunft



Was haben wir am meisten?

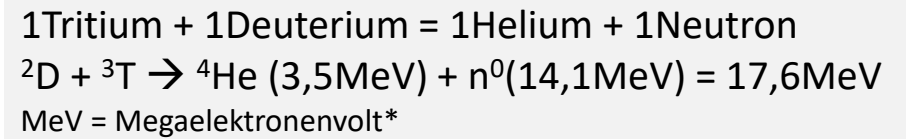
**Wasser**



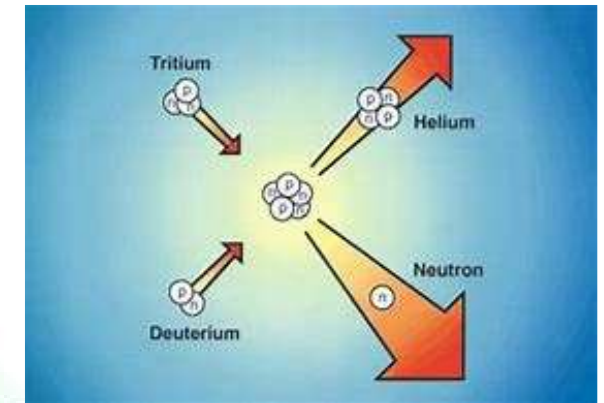
## Und noch einmal Physik

**PV und Windkraft sind eine Übergangsresource und müssen solange ausgeschöpft werden, bis wir eine Alternative haben.**

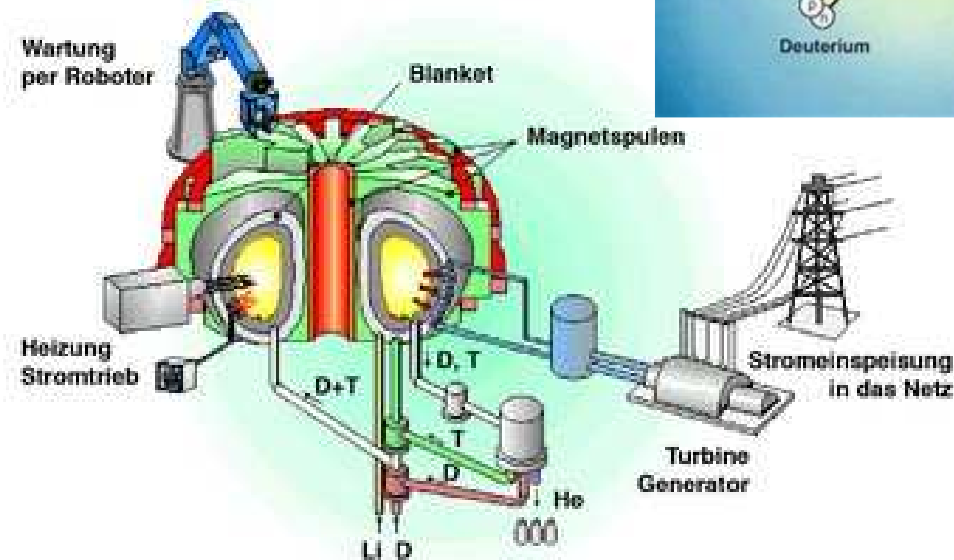
Reaktionsgleichung:



\* 1MeV =  $1,6 \times 10^{13}$  J



**Bis wir irgendwann einmal Fusionskraft nutzen können.**

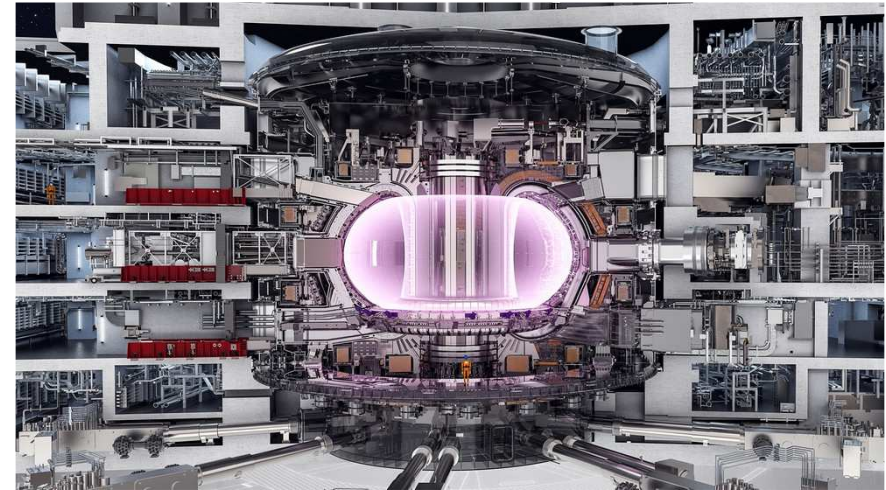




## Und noch mehr Physik

Wieviel Leistung erzeugt Kernfusion?  
1 g  $\rightarrow$  90 000kW = 11 000kg Kohle

Ein Gramm ( $^2\text{D} + ^3\text{T}$ )/h entspricht also der Spitzenleistung von **15 großen (6MW) Windkraftanlagen.**



Wie viele Fusionskraftwerke würde Deutschland benötigen: **15 Anlagen.**



Aktueller Stand in der Fusionsforschung:

- Jet/GB: Am 08.02.2024 wurden aus 0,2mg Fusionsbrennstoff 69MJ = 19,2kWh gewonnen.
- Iter/F (2025): Nächste Stufe mit Energieausbeute.



## Wie viel Fusionsbrennstoff steht zur Verfügung?

- Periodensystem weist für  $H_2$  eine Massenzahl von 1,008 aus. ( $H = 1p$ )
- $^3T$  (Tritium) ist nicht stabil, hat also keinen Anteil an der überschüssigen Masse.
- Die überschüssige Masse ist  $^2D$  (Deuterium).
- $H_2O$  auf der Erde: 1,4 Mrd  $km^3$ , davon 11,1%  $H_2 = 1,1 \times 10^{17}t$  ( $2^*/18^{**} = 0,111$ )
- Deuterium auf der Erde:  $0,008 \times 1,1 \times 10^{17} = 8,8 \times 10^{14}t$
- $8,8 \times 10^{14}t = 8,8 \times 10^{20}g$
- Ein Teil davon wird zu Tritium durch Neutronenbeschuss umgewandelt.
- $8,8 \times 10^{20}g$  erzeugen  $3 \times 10^{25}MJ = 3 \times 10^{16}PJ$

\*Massenzahl für  $H_2$

\*\*Massenzahl für  $H_2O$

*Halbwertszeit der Strukturmetalle: Einige Monate bis 12 Jahre*

- Derzeit in Deutschland pro Jahr verbraucht 10800PJ.
- Theoretische Reserve für Deutschland  $2,8 \times 10^{12}a$  bei derzeitigen Verbrauch
- Theoretische Reserve für die Erde bei 100 Mal Einwohnerzahl D  $2,8 \times 10^{10}a = 28Mrd a$
- Mögliches Leben auf der Erde bis maximal 3 Mrd a.